

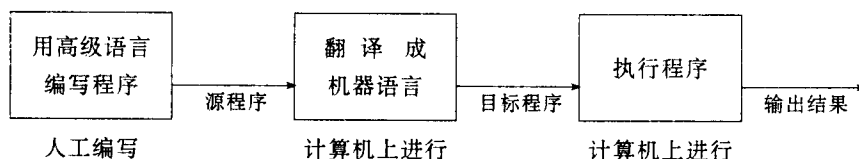
第 1 章 计算机系统概述

1.1 计算机系统的构成

计算机系统由硬件和软件构成。硬件是计算机系统实际装置，是系统的基础和核心（称为硬核），一般由中央处理器（CPU）、存储器、输入/输出设备等组成，它以机器语言提供给程序员使用。软件指的是操作系统、文本编辑程序、调试程序、汇编程序、编译程序、数据库管理系统、文字处理系统、视窗（Windows）软件、网络软件以及其它各种应用程序等，其中较低层次的程序（如操作系统、汇编程序）与硬件密切相关，而用户在使用高级语言或第四代语言编写程序时基本上已与硬件的实现无关，但是硬件的结构和性能对程序处理的速度影响极大。

本书主要阐述计算机基本原理，并从软件人员角度来观察与分析计算机的硬件结构及其对程序运行的影响。

现代计算机解题的一般过程如下：用户使用高级语言或编程工具编写的程序，连同数据一起送入计算机（用户程序一般称为源程序），然后由计算机将其翻译成机器语言程序（称为目标程序），在计算机上运行后输出结果。其过程如下所示：



早期的计算机只有机器语言，程序员必须用以二进制码表示的机器语言编写程序（实际上用八进制或十六进制码编写），因此工作量大、容易出错，很不方便。在 50 年代，出现了符号式程序设计语言，这就是汇编语言，用汇编语言编写的程序在计算机上翻译成机器语言后运行。由于汇编语言的语法、语义结构仍然与机器语言基本一致，而与人们传统的解题方法相差甚远。因此对程序员的要求仍很高，要求他们对计算机的硬件和指令系统有正确和深入的理解，并有熟练的编程技巧。为了便于编程，又出现了面向目标的高级语言，随同研制出来的是这些语言的翻译程序（编译程序或解释程序），这样用户见到的是一台用高级语言形式表示出来的机器，由于它是依靠软件扩充后才成立的机器，因此可以称它为虚拟机器，而用硬件构成的实际机器，只能执行用机器语言表示的程序。常用的高级语言有 C、BASIC、FORTRAN、ALGOL、PASCAL、COBOL、LISP 和 PROLOG 等，在实际运行时先把高级语言程序翻译成汇编语言程序或中间语言程序，然后再翻译成机器语言程序。现代的计算机都具有一种称为操作系统的软件来管理和调度计算机硬件资源的分配和使用。操作系统是从管理程序发展而来的，它提供了实际机器所没有的、但在汇编语言和高级语言的使用和实现过程中所需的某些基本操作和数据结构。综上所述，我们可以把计算机系统看作是一个具有多级层次结构的系统（见图 1.1），它的底层（或基础）是由

硬件组成的实际机器 M1，配上操作系统后就成为虚拟机器 M2，在其上是用汇编语言或中间语言表示的虚拟机器 M3，用户用高级语言编程时见到的是虚拟机器 M4。

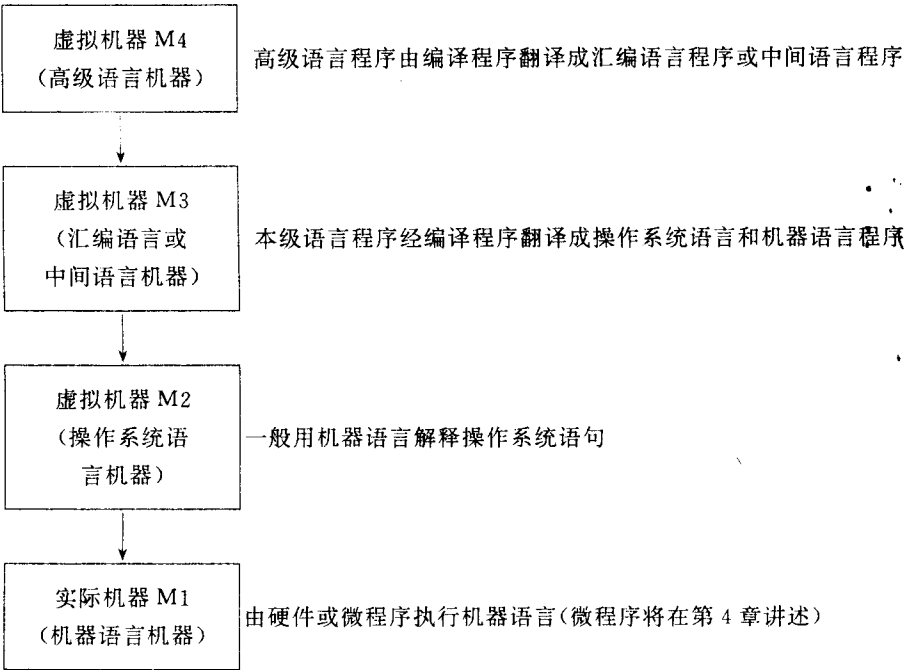


图 1.1 计算机系统的多层次结构

近年来不断有新的编程工具出现，并配以与用户友好的屏幕显示，提供了更为直观的编程环境。

值得提出的是，计算机软件和硬件在逻辑功能上是等效的，即某些操作可以用软件，也可以用硬件实现，因此软、硬件之间没有固定不变的分界面，而是受实际应用的需要以及系统性能价格比所支配。从使用人员来看，机器的速度、可靠性、可维护性是主要的硬件技术指标。具有相同功能的计算机系统，其软、硬件之间的功能分配可以有很大差异。回顾计算机的发展历史，在其早期，由于硬件昂贵，所以计算机的硬件比较简单，尽量让软件完成更多的工作，但是随着组成计算机的基本元器件的发展，其价格不断下降，性能不断提高，因而硬件成本不断下降。与此同时，随着应用的不断发展，软件成本在计算机系统中所占的比例不断上升，这就造成了软、硬件之间的分界面的推移，即将某些由软件完成的工作交给硬件去完成，同时还提高了计算机实际运行速度。

1.2 计算机的硬件

组成计算机的基本部件有中央处理器 CPU、存储器和输入/输出 (I/O) 设备。

1.2.1 输入/输出设备

输入设备用来输入原始数据和处理这些数据的程序。输入的信息有数字、字母和控制符等，人们常用 8 位二进制码来表示 1 个数字 (0—9)、1 个字母 (A、B、C、…、X、Y、

Z) 或 1 个控制符, 当前通用的是 ASCII 码, 它用 7 位二进制码来表示 1 个字符, 最高的 1 位可用于奇偶校验或作为其它用处。在计算机中, 一般把 8 位二进制码称为 1 个字节。在我国使用的计算机, 一般都要求有汉字处理能力, 在机内一般用 2 个字节来表示 1 个汉字。键盘是最常用的输入设备之一。近年来, 为了简化输入方式, 又研制成功了将文字和图象直接输入的扫描方式以及通过说话实现的语音输入方式。

输出设备用来输出计算机的处理结果或操作提示, 可以是数据、文字、表格、图形、图象或语言。最常用的输出设备是显示器和打印机, 处理的中间结果或操作提示可显示在屏幕上, 而最终结果往往需要打印在纸上, 如为图形, 可使用绘图仪画在纸上。

为了监视人工输入信息的正确性, 在用键盘输入信息时, 将输入的信息显示在屏幕上, 如有错误, 可及时纠正。

软盘和磁带是计算机中用来存放数据和程序的存储介质, 但有时也可用于脱机输入或脱机输出, 前者利用专用设备将信息录入盘或带后, 再将盘或带装入计算机。后者先在计算机中将信息写入磁介质中, 然后取出磁介质, 脱机保存。

输入/输出设备一般由两部分组成, 一部分是设备本身; 另一部分是设备接口, 用来控制并实现设备与主机之间的信息传送。

1.2.2 存储器

存储器用来存放程序和数据, 是计算机中各种信息的存储和交流中心。存储器可与 CPU、输入/输出设备交换信息, 起存储、缓冲、传递信息的作用。

对存储器的基本要求是能够按指定地址读出/写入信息。

存储器由许多存储单元组成, 所有单元按顺序依次编号, 每个单元的编号称为此单元的地址, 每个单元的地址是各不相同的, 例如某存储器有 1024 个单元, 则它的地址编码从 0 到 1023。如果一个存储单元存放一个字节, 称之为按字节编址。但一次读出/写入过程往往是读出/写入一个字, 字长因机器而异, 例如有的机器以 32 位二进制码 (即 4 个字节) 作为一个字, 而有的机器以 64 位二进制码作为一个字。

存储器中包含的所有存储单元之总和称为存储容量, 读出/写入一个字的时间称为读写时间 (或存取时间), 两次读出/写入操作之间的时间间隔称为读写周期 (或存取周期)。

存储器又有主存储器和辅助存储器之分, 在计算机上运行的当前程序和数据存放在主存储器中, 主存储器一般为半导体存储器, 辅助存储器一般指的是磁盘存储器、磁带存储器和光盘存储器。

1.2.3 中央处理器 CPU

在早期的计算机中, CPU 分成运算器和控制器两部分, 后来由于电路集成度的提高, 在微处理器问世时, 就将它们集成在一个芯片中。

运算器是对信息或数据进行处理和运算的部件, 经常进行的是算术运算和逻辑运算, 所以在其内部有一个算术和逻辑运算部件 ALU, 算术运算是按照算术规则进行的运算, 例如加、减、乘、除、求绝对值、取负值等。逻辑运算一般是指非算术性质的运算, 例如比较两数的大小、移位、逻辑乘、逻辑加、按位加 (异或操作) 等。在计算机中, 一些复杂的运算往往被分解成一系列算术运算和逻辑运算。参加运算的两个数称为源操作数, 通常存

放在寄存器中或存储器中，运算结果一般也可存放在寄存器中或存储器中。这里讲到的寄存器是运算器的组成部分，根据其用途的不同，可以是通用寄存器或用于特定操作的专用寄存器。当 CPU 处理的数据局限于整数时，这个 CPU 有时被称为整数运算部件 IU。为了快速有效地对实数进行处理，在某些计算机中专门设置了浮点运算部件。

控制器主要用来实现计算机本身运行过程的自动化，即实现程序的自动执行。在控制器控制之下，从输入设备输入程序和数据，并自动存放在存储器中，然后执行在存储器中的程序，最后将结果打印输出。程序是由一系列指令组成的，执行程序的过程实际上是按一定顺序执行一串指令的过程。控制器产生一系列控制信号，控制从存储器中取出指令，分析指令功能，完成指令规定的操作，并确定下一条指令的地址，不断重复，直到程序执行完毕。

在计算机中，各部件间来往的信号可分成三种类型，它们是：地址、数据和控制信号。这些信号一般是通过总线传送的，如图 1.2 所示。

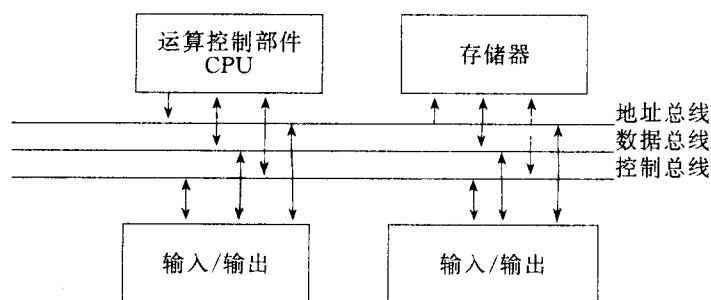


图 1.2 以总线连接的计算机框图

图中，由 CPU 发出的控制信号，经控制总线送到存储器或输入/输出设备，控制这些部件完成指定的操作。与此同时，CPU（或其它设备）经地址总线向存储器或输入/输出设备发送地址，按地址从这些设备取出数据或送入数据，使得计算机中各个部件中的数据能根据需要互相传送。输入/输出设备有时也向 CPU 送回一些信号，CPU 可根据这些信号来调整本身发出的控制信号。现代计算机还允许输入/输出设备直接向存储器提出读写请求，同时发出被访问的存储器单元地址，控制数据传送。

1.3 计算机的发展简史

电子计算机的发展，如果从第一台计算机的问世算起，到现在才 50 年，在人类科技史上还没有一种学科可以与电子计算机的发展之快相提并论。

20 世纪 40 年代，无线电技术和无线电工业的发展为电子计算机的研制准备了物质基础，1943—1946 年美国宾夕法尼亚大学研制的电子数字积分和计算机 ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Computer) 是世界上第一台电子计算机。当时第二次世界大战正在进行，为了进行新武器的弹道问题中许多复杂的计算，在美国陆军部的资助下开展了这项研究工作，ENIAC 计算机于 1945 年年底完成，1946 年 2 月正式交付使用，因为它是最早问世的一台电子数字计算机，所以一般人认为它是现代计算机的始祖。

ENIAC 计算机共用 18000 多个电子管，1500 个继电器，占地 170m²，耗电 140kW，每

秒钟能计算 5000 次加法, ENIAC 计算机存在两个主要缺点: 一是存储容量太小, 只能存 20 个字长为 10 位的十进制数; 二是用线路连接的方法来编排程序, 因此每次解题都要依靠人工改接连线, 准备时间大大超过实际计算时间。

与 ENIAC 计算机研制的同时, 冯·诺依曼 (Von Neumann) 与莫尔小组合作研制 ED-VAC 计算机, 采用了存储程序方案, 其后开发的计算机都采用这种方式, 称为冯·诺依曼计算机。一般认为冯·诺依曼机具有如下基本特点:

(1) 计算机由运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备五部分组成。

(2) 采用存储程序的方式, 程序和数据放在同一个存储器中, 指令和数据一样可以送到运算器运算, 即由指令组成的程序是可以修改的。

(3) 数据以二进制码表示。

(4) 指令由操作码和地址码组成。

(5) 指令在存储器中按执行顺序存放, 由指令计数器 (即程序计数器 PC) 指明要执行的指令所在的单元地址, 一般按顺序递增, 但可按运算结果或外界条件而改变。

(6) 机器以运算器为中心, 输入/输出设备与存储器间的数据传送都通过运算器。

50 年来, 随着技术的发展和 new 应用领域的开拓, 对冯·诺依曼机作了很多改革, 使计算机系统结构有了很大新发展, 如某些机器程序与数据分开存放在不同的存储器中, 程序不允许修改, 机器不再以运算器为中心, 而是以存储器为中心等等, 虽然有以上这些突破, 但原则变化不大, 习惯上称之为冯·诺依曼机。

根据电子计算机所采用的物理器件的发展, 一般把电子计算机的发展分成四个阶段, 习惯上称为四代。两代计算机之间时间上有重叠。

第一代: 电子管计算机时代 (从 1946 年第一台计算机研制成功到 50 年代后期), 其主要特点是采用电子管作为基本器件。在这一时期, 主要为军事与国防尖端技术的需要而研制计算机, 并进行有关的研究工作, 为计算机技术的发展奠定了基础, 其研究成果扩展到民用, 又转为工业产品, 形成了计算机工业。

50 年代中期, 美国 IBM 公司在计算机行业中崛起, 1954 年 12 月推出的 IBM650 (小型机) 是第一代计算机中行销最广的机器, 销售量超过一千台。1958 年 11 月问世的 IBM709 (大型机) 是 IBM 公司性能最高的最后一个电子管计算机产品。

第二代: 晶体管计算机时代 (从 50 年代中期到 60 年代后期), 这时期计算机的主要器件逐步由电子管改为晶体管, 因而缩小了体积, 降低了功耗, 提高了速度和可靠性。而且价格不断下降。后来又采用了磁心存储器, 使速度得到进一步提高。不仅使计算机在军事与尖端技术上的应用范围进一步扩大, 而且在气象、工程设计、数据处理以及其它科学研究等领域内也应用起来。在这一时期开始重视计算机产品的继承性, 形成了适应一定应用范围的计算机“家族”, 这是系列化思想的萌芽。从而缩短了新机器的研制周期, 降低了生产成本, 实现了程序兼容, 方便了新机器的使用。

1960 年控制数据公司 (CDC) 研制高速大型计算机系统 CDC6600, 于 1964 年完成, 取得了巨大成功, 深受美国和西欧各原子能、航空与宇航、气象研究机构和大学的欢迎, 使该公司在研究和生产科学计算高速大型机方面处于领先地位。1969 年 1 月, 水平更高的超大型机 CDC7600 研制成功, 平均速度达到每秒千万次浮点运算, 成为 60 年代末、70 年代初性能最高的计算机。

第三代：集成电路计算机时代（从 60 年代中期到 70 年代前期），这时期的计算机采用集成电路作为基本器件，因此功耗、体积、价格等进一步下降，而速度及可靠性相应地提高，这就促使了计算机的应用范围进一步扩大。正是由于集成电路成本的迅速下降，产生了成本低而功能不是太强的小型计算机供应市场。占领了许多数据处理的应用领域。

IBM360 系统是最早采用集成电路的通用计算机，也是影响最大的第三代计算机。在 1964 年宣布 IBM360 系统时就有大、中、小型等 6 个计算机型号，平均运算速度从每秒几千次到一百万次，它的主要特点是通用化、系列化、标准化。通用化，系列化和标准化的意义解释如下：

通用化：指令系统丰富，兼顾科学计算、数据处理、实时控制三个方面。

系列化：IBM360 各档机器采用相同的系统结构，即在指令系统、数据格式、字符编码、中断系统、控制方式、输入/输出操作方式等方面保持统一，从而保证了程序兼容，当用户更新机器时原来在低档机上编写的程序可以不作修改就使用在高档机中。IBM360 系统后来陆续增加的几种型号仍保持与前面的产品兼容。后来，欧洲、日本和前苏联的一些通用计算机也保持与 IBM360 系统兼容。

标准化：采用标准的输入/输出接口，因而各个机型的外部设备是通用的。采用积木式结构设计，除了各个型号的 CPU 独立设计以外，存储器、外部设备都采用标准部件组装。

第四代：大规模集成电路计算机时代，70 年代初，半导体存储器问世，迅速取代了磁心存储器，并不断向大容量、高速度发展，此后，存储器芯片集成度大体上每三年翻两番（1971 年每片 1K 位，到 1984 年达到每片 256K 位，1992 年 16M 位动态随机存储器芯片上市），价格平均每年下降 30%。逻辑电路也得到相应的发展。

随着大规模集成电路的迅速发展，计算机进入大发展时期，通用机、大型机、巨型机、小型机、微型机以及工作站都得到了发展。

（1）通用机（大型机） 通用机曾经是计算机工业中价值比重最大的产品，其中以 IBM370 系统影响最大，它在与 IBM360 系统兼容的前提下进行了改进。IBM 公司为开发 360 系统的软件耗费了巨大的人力和财力，据估算，IBM 用户在应用程序、培训等方面花费了两千亿美元，是硬件投资的三至五倍，如此丰富的软件不能抛弃、只能继承，这已成为用户与计算机厂家共同遵守的原则，但也成了计算机发展的制约。继 IBM370 以后，IBM303X 大型机系列仍与 IBM370 系统兼容，但具有更强的科学计算处理能力；IBM4300 系列取代了 IBM370 系统的低档机，但仍与 IBM370 兼容。

其它计算机厂家在发展新机种时也遵循兼容的原则。某些计算机厂家走上与 IBM 计算机兼容的道路，称之为 PCM：Plug Compatible Mainframe（插接兼容主机——硬件完全兼容）或 Program Compatible Mainframe（程序兼容主机——软件兼容），制造与 IBM 兼容的计算机，它们按 IBM 系列机的系统结构制造主机，并直接引用 IBM 计算机的软件，因而使产品的性能价格比优于 IBM 原装机，以争夺市场。

IBM 公司的 S/390 系统的 ES/9000 和 AS/400 分别是目前应用较为广泛的大型机和中（小）型机。

（2）巨型机 现代科学技术，尤其是国防技术的发展，需要有很高运算速度、很大存储容量的计算机，一般的大型通用计算机不能满足要求。集成电路的进展，为制造巨型机提供了条件。从 60 年代到 70 年代相继完成了一些巨型机，其中取得最高成绩的要推 Cray-

1 计算机。针对天气预报、飞行器的设计和核物理研究中存在大量向量运算的特点, Cray-1 计算机的向量运算速度达每秒 8000 万次, 并兼顾了一般的标量运算。1983 年研制成功的 CrayX-MP 机向量运算速度达每秒 4 亿次。与此同时, CDC 公司的 CYBER203 和 205 先后完成, CYBER205 每秒可进行 4 亿次浮点运算。这些是 80 年代初期的水平最高的巨型机。但是这些成就还不能满足一些复杂问题的需要, 所以不少单位开展了性能更高的巨型机的研究工作。近年来微处理器的发展为阵列结构的巨型机发展带来了希望, 这种采用并行处理技术的多处理器系统是巨型机发展的一个重要方面。

(3) 小型机 小型机规模小、结构简单所以设计试制周期短, 便于及时采用先进工艺, 生产量大, 硬件成本低; 同时由于软件比大型机简单, 所以软件成本也低。再加上容易操作、容易维护和可靠性高等特点, 使得管理机器和编制程序都比较简单, 因而得以迅速推广, 掀起一个计算机普及应用的浪潮。DEC 公司的 PDP-11 系列是 16 位小型机的代表, 到 70 年代中期 32 位高档小型机开始兴起, DEC 公司的 VAX11/780 于 1978 年开始生产, 应用极为广泛。VAX11 系列与 PDP11 系列是兼容的。

小型机的出现打开了在控制领域应用计算机的局面, 许多大型分析仪器、测量仪器、医疗仪器使用小型机进行数据采集、整理、分析、计算等。应用于工业生产上的计算机除了进行上述工作外还可进行自动控制。

(4) 微型机 微型机的出现与发展, 掀起计算机大普及的浪潮, 利用 4 位微处理器 Intel4004 组成的 MCS-4 是世界上第一台微型机, 它于 1971 年问世。Intel8086 是最早开发成功的 16 位微处理器 (1978 年), 以后开发的 Intel80286、80386 与 8086 兼容。1981 年以后 32 位微处理器相继问世, 比较著名的 32 位微处理器有 Intel80386、Motorola 的 68020 和 68030 等。1990 年 Intel80486 和 Motorola68040 推向市场, 其集成度达到 120 万个晶体管, 与原来的产品相比较, 除了提高主频速度外, 还将原属片外的有关电路集成到片内。1993 年 Intel 公司推出 Pentium 微处理器, 集成度达到 310 万个晶体管。

32 位微处理器采用过去大中型计算机中所采用的技术, 因此用它构成的微型机系统的性能可以达到 70 年代大中型计算机的水平。

70 年代后期, 兴起个人计算机 (一种独立微型机系统) 热潮, 最早出现的是 Apple 公司的 Apple II 型微机 (1977 年), 此后各种型号的个人计算机纷纷出现。1981 年一向以生产大中型通用机为主的 IBM 公司推出了 IBM PC 机, 后来又推出扩充了性能的 IBM PC/XT、IBM PC/AT 以及 386、486 和 Pentium 等多种机型, 由于具有设计先进、软件丰富、功能齐全、价格便宜等特点, 很快成为微型机市场的主流, 国内外有不少厂家相继生产了与 IBM 兼容的个人计算机。

微型机向小型化发展出现了便携机 (膝上型、笔记本型和掌上型), 在 90 年代获得了迅速发展。

目前, 家用电脑的热潮已在全球兴起, 尤其是在美国, 家用电脑的销售额已超过了电视机。家用电脑是在家里使用的基于多媒体技术的电脑, 可用于家庭办公、学习、娱乐等。多媒体技术是指把电视技术所具有的声、图并茂的信息传播能力和计算机所具有的人、机交互能力结合起来, 从而产生全新的信息交流方式。

(5) 工程工作站 工程工作站是 80 年代兴起的面向广大工程技术人员的计算机系统, 一般具有高分辨率显示器、交互式的用户界面和功能齐全的图形软件。开始集中应用于各

种工程方面的计算机辅助设计,如集成电路设计、机械设计、土木建筑设计等。

由于工程工作站出现得比较晚,一般都带有网络接口,并采用开放式系统结构,将机器的软、硬件接口公开,以鼓励其它厂商和用户围绕工作站开发软、硬件产品。同时尽量遵守国际工业界流行的标准。

目前使用的工作站,其CPU一般选用RISC(精简指令系统计算机)。

(6) 计算机网络 由于计算机技术和通信技术的迅速发展,为适应高度社会化生产和科技发展的需要,计算机网络应运而生,并获得迅速发展。著名的美国ARPA网诞生于60年代末,在70年代不断扩充网上节点,到1975年已连接60个以上的节点,一百多台主机计算机。地理范围遍布全美并扩展到欧洲。与此同时其它网相继建成。由于这些网络跨越的地理范围比较宽阔,因而称为广域计算机网。一些主要计算机厂家为解决本公司生产的各种计算机之间和其它计算机厂家生产的计算机之间的联网问题,向用户提供相应的硬件(如通信接口板)和网络软件。

随着计算机的广泛应用,特别是小型机和微型机的普及,一个单位在一幢大楼或一个建筑群内安装多台计算机的情况日益普遍,将这些计算机联接在一起的网络称为局域网。另外还有一种网络称之为城域网,网上计算机跨越的范围介于广域网和局域网之间。

计算机网络的蓬勃发展,加速了社会信息化的进程。

上面讲到,根据计算机所用器件的不同,经历了四代的变革,目前,计算机主要仍采用超大规模集成电路,因此仍属第四代计算机范畴。

值得提出的是,由于超大规模集成电路发展很快,集成度和性能不断提高,目前微处理器的水平早已超出过去大型机水平,因此说明各种类型计算机没有明确的固定不变的指标,随着计算技术的发展其指标也不断提高。

随同计算机硬件发展的还有软件,应该指出,发挥计算机的作用,推广计算机的应用,改进计算机的设计以及简化计算机的操作,使它从只供专家使用转为面向大众,软件工作者起了决定性的作用。

高级程序设计语言在第二代计算机时期趋向成熟并迅速普及,操作系统自动地管理计算机系统中各个设备以及多个程序的高效运行,是第三代计算机时期的重大成就,以上这些软件属于系统软件。

广泛应用计算机的结果,在科学计算、数据处理、商业经营、经济管理、工业控制、工程设计等领域中开发出各自的程序,称为应用软件。计算机厂家向用户提供软件(系统软件和应用软件)时与硬件分别计价,并产生了专门从事软件研制、生产、销售工作的软件公司(例如美国的Microsoft公司)。但是软件的发展跟不上需要,软件费用急剧增长,这是因为硬件是工业化生产,价格不断下降,而软件为人工劳动,生产率低。一些科学家提出了软件工程的观念,对软件开发实行工程化管理,以期得到廉价、可靠、有效的软件。软件还具有容易复制的特点,软件成果容易被别人占有,因此影响了软件开发者进行软件开发及将软件投入市场的积极性。为了保护软件不被剽窃,可以采取加密等技术措施以及低价销售、随硬件提供等经营措施,这虽能发挥一定的保护作用,但不能彻底解决问题,因此由国家来制订,实施对软件的保护法律是至关重要的。但是一个国家的法律只适用于国内,而软件很容易在国家之间传播,因此,国与国之间相互承担保护对方公民(和法人)软件义务已成为各国之间经济合作关系的一个重要组成部分。

1.4 计算机的应用

1.4.1 科学计算

科学计算一直是电子计算机的重要应用领域之一。例如在天文学、量子化学、空气动力学、核物理学等领域中,都需要依靠计算机进行复杂的运算。在军事上,导弹的发射及飞行轨道的计算控制、先进防空系统等现代化军事设施通常都是由计算机控制的大系统,其中包括雷达、地面设施、海上装备等。现代的航空、航天技术发展,例如超音速飞行器的设计、人造卫星与运载火箭轨道计算更是离不开计算机。

除了国防及尖端科学技术以外,计算机在其它学科和工程设计方面,诸如数学、力学、晶体结构分析、石油勘探、桥梁设计、建筑、土木工程设计等领域内也得到广泛的应用,促进了各门科学技术的发展。

有些系统,要求计算机处理所得的结果立即反过来作用或影响正在被处理的事物本身,例如在控制导弹飞行的系统中,不断测量导弹飞行的参数(包括飞行环境),并及时作出反应,修正导弹飞行的轨迹,这样的系统称为实时处理系统。

科学计算的特点是计算量大和数值变化范围大。

1.4.2 数据处理

当前大部分计算机都用于数据处理,例如用计算机处理储蓄户的取款、存款、发放工资等,为了实现通存通兑,计算机需要联网使用。

为了减少社会上现金的流通量,在国际上广泛使用信用卡,信用卡是一张上面具有一小磁条的卡片,磁条上记有持有者特征信息,当插入银行终端设备(例如自动柜员机ATM)的插口后,磁条上记录的特征信息就读入与终端相连的计算机。假如信用卡持有者是该银行的储户,那末计算机自动将与该储户有关的帐目从计算机中取出,然后进行存款、取款或冲帐等工作,并将结算后的余额重新存入计算机。

信用卡还可用来购买东西,凡是有相应银行业务终端的地方,都可用它来付款。

近年内获得迅速发展的IC卡(集成电路卡),将CPU和存储器安装在卡内芯片中,用它作为现金卡或信用卡,具有更高的保密性和安全性。

在企业数据处理领域中,计算机广泛应用于财会统计与经营管理中,如编制生产计划、统计报表、成本核算、销售分析、市场预测、利润预估、采购订货、库存管理、工资管理等。为了适应计算机管理,在报表格式的修改,名词统一编码等多方面要进行大量工作。

数据处理系统具有输入/输出数据量大而计算却很简单的特点。对安全性和可靠性有特殊要求。

1.4.3 计算机控制

在现代化工厂里,计算机普遍用于生产过程的自动控制,例如在化工厂中用计算机来控制配料、温度、阀门的开闭等;在炼钢车间用计算机控制加料、炉温、冶炼时间等;程控机床加工的机械零件具有尺寸精确的特点,而且不需要专用工卡具、模具和熟练技工就可以制造出形状复杂的产品。

用于生产过程自动控制的计算机，一般都是实时控制，它们对计算机的速度要求不高，但可靠性要求很高，否则将生产出不合格的产品，甚至造成重大设备事故或人身事故。

用于控制的计算机，其输入信息往往是电压、温度、机械位置等模拟量，要先将它们转换成数字量，称为模/数转换，然后计算机才能进行处理或计算。当从被控制对象测量到的信息是温度、位置等非电量时，要先将它们转换成电量，然后再转换成数字量。如何测量，用什么仪表测量也是一个很重要的问题。计算机的处理结果是数字量，一般要将它们转换成模拟量去控制对象，称为数/模转换。如有需要，可将结果打印输出或显示在屏幕上，以供观察。提供计算机控制系统的厂家往往已将控制程序（称为应用程序包）编制好，可提供给用户。

1.4.4 计算机辅助设计/计算机辅助制造（CAD/CAM）

由于计算机有快速的数值计算、较强的数据处理以及模拟的能力，因而目前在飞机、船舶、光学仪器、超大规模集成电路 VLSI 等的设计制造过程中，CAD/CAM 占据着越来越重要的地位。

在超大规模集成电路的设计和生产过程中，要经过设计制图、照相制版、光刻、扩散、内部连接等多道复杂工序，是人工难以解决的。

使用已有的计算机辅助设计新的计算机，达到设计自动化或半自动化程度，从而减轻人的劳动强度并提高设计质量，这也是计算机辅助设计的一项重要内容。

由于设计工作与图形分不开，一般供辅助设计用的计算机配备有图形显示、绘图仪等设备以及图形语言、图形软件等。设计人员可借助这些专用软件和输入输出设备把设计要求或方案输入计算机，通过相应的应用程序进行计算处理后把结果显示出来，设计人员可用光笔或鼠标器进行修改或选择，直到满意为止。

1.4.5 人工智能

人类的许多脑力劳动，诸如证明数学定理、进行常识性推理、理解自然语言、诊断疾病、下棋游戏、破译密码等都需要“智能”。

人工智能是将人脑在进行演绎推理的思维过程、规则和所采取的策略、技巧等编成计算机程序，在计算机中存储一些公理和推理规则，然后让机器去自动探索解题的方法，所以这种程序不同于计算机的一般应用程序。

当前人工智能在自然语言的理解、机器视觉和听觉等方面给以极大的重视。自然语言是人类交往所用的语言，计算机理解它是很困难的，因为人们通过各自的生产、生活和社会活动，在大脑中已拥有大量的、高度相似的信息或知识，而计算机则没有，另外讲话的语义经常还跟上下文有关，有时还要对讲话的内容进行推理或者演绎才能得出某些结论。

智能机器人是人工智能各种研究课题的综合产物，有感知和理解周围环境、进行推理和操纵工具的能力，并能通过学习适应周围环境，完成某种动作。在不允许人进入的场所（如高温、有放射性物质等）使用机器人有特殊的意义。

1.5 计算机的性能与成本

1.5.1 计算机的性能

计算机的性能反映了计算机处理问题的速度，可用三种方法来衡量。

1. 用时间来衡量计算机性能

经常用每秒完成多少个事件 (events) 来表示。对用户来说，他关心的是响应时间，即从提出任务开始，到计算机得出结果所需的时间，包括 CPU 工作、访问存储器、磁盘存取、I/O 操作、操作系统开销等时间。在计算机运行多道程序的环境中，当某道程序需要等待完成 I/O 操作时，通常将 CPU 分配给其它程序运行，因此引入 CPU 时间的概念。它指的是完成这道程序所需的 CPU 时间 (不包括 I/O 等待时间或运行其它程序的时间)。CPU 时间又可分为用户 CPU 时间 (执行用户程序的 CPU 时间) 和系统 CPU 时间 (执行操作系统的 CPU 时间)。假如执行 UNIX 的 time 命令时，返回以下数据：

90.7u 12.9s 2:39 65%

其意义为：进程在用户态占用 CPU 时间为 90.7 秒，进程在系统态占用 CPU 时间为 12.9 秒，响应时间为 2 分 39 秒 (159 秒)，进程所用的 CPU 时间占响应时间的 65%。在此例中有 35% 时间用于等待 I/O 或 (和) 运行其它程序。

在这里我们用 CPU 时间来表示 CPU 性能：

$$\text{CPU 时间} = I \times \text{CPI} \times T$$

式中：I 为执行程序的指令数；CPI 为平均一条指令的周期数；T 为时钟周期。

2. 用 MIPS 来衡量计算机性能

MIPS 以各类程序中执行指令的频度为依据，通过计算得到。一般将 VAX11/780 计算机的运算时间定为 1 MIPS，即每秒执行一百万条指令 (实际上，VAX11/780 的运算速度小于 1MIPS)，其它机器的运算速度与 VAX11/780 机相比，如果它的速度比 VAX 快一倍，则为 2MIPS。

用 MIPS 值来衡量机器速度是不够确切的，因为：

(1) MIPS 值依赖于指令集，对不同指令集的计算机，难以用 MIPS 值来比较它们的速度。如某些机器具有较复杂的指令，显然功能强的指令，执行时间也长。假如程序中安排有较多的复杂指令，此时 MIPS 值会低些，但运行程序的时间反而短些，因为两种不同指令集的计算机执行同一程序时，实际执行的指令数不相等。

(2) 在同一台计算机上运行不同程序，会得出不同的 MIPS 值。

(3) MIPS 值可能得出与性能相反的结果。如某机进行科学计算，用浮点选件来代替浮点子程序，可以减少程序的执行时间，但此时计算机每秒钟能执行的平均指令数反而减少了。

但是在一定条件下，MIPS 在一定程度上还是反映出计算机的性能指标。

3. 选择程序来评价性能

常用以下几种程序来评价性能 (参见第 10 章)：

(1) 真实程序 例如运行 C 编译程序、操作系统、用户程序等，反映出实际程序的运行时间，其中包括了输入输出和操作系统时间。

(2) 核心程序 从真实程序中挑选出来的使用频繁的小程序，用它来评价机器某些方面的特点。

(3) 基准程序 根据各种指令在程序中的使用频度而编写出来的一组测试性能的程序，现在广泛用来评价计算机的性能。大家趋向于采用一些“标准的”基准程序进行测试，如 Whetstone、SPEC mark 等。

1.5.2 成本与价格

在设计计算机时要考虑成本，由于电子器件产品在市场上价格变化很大，因此考虑计算机成本时，不应按设计时的成本计算，而是要考虑该产品投放市场时的成本。图 1.3 为构成计算机存储器的主要芯片 DRAM（动态随机存储器）的价格变化情况。图中的四条曲线分别表示四种不同容量（16K 位，64K 位，256K 位，1M 位）芯片投放市场的时间及其与价格的关系。

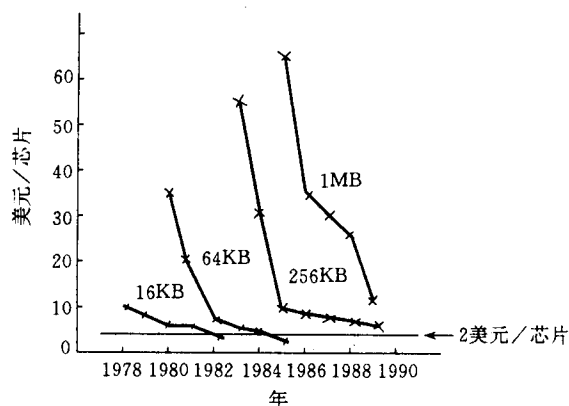


图 1.3 存储器芯片价格变化趋势

计算机的价格，除了由成本决定外，还受市场供需关系以及是否有多渠道货源可供选择等因素的影响。

计算机成本与价格的关系：

用户对计算机的价格感兴趣，在此我们将讨论成本与价格的差别，图 1.4 从左到右列出从零部件成本到最后标出价格的数值增加情况。

1. 零部件成本

因购买计算机系统的元器件和部件而列入产品成本的部分。

2. 直接成本

与产品直接有关的成本，例如劳动成本、采购的费用、不合格品折合到成本的部分、系统失效成本（顾客购买的计算机系统，在担保期内出故障而需支出的费用）。直接成本约为零部件成本的 25%—40%。服务费与维修费一般由用户另行支付，不包括在成本内。

3. 间接成本

不能直接列入产品中的公司开销，包括公司的研究开发费用、市场销售费用、生产设

备维修费、房租、利润、税收等。

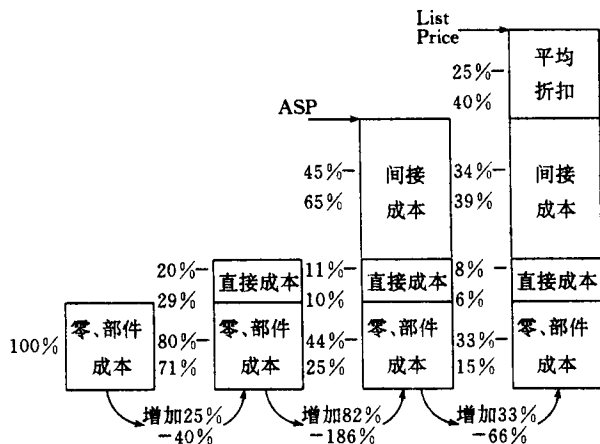


图 1.4 成本与价格

上述三项之和成为平均出售价格 ASP (Average Selling Price)，这是产品出售后直接进入公司的金额。

4. 列价 (List Price)

公司出售产品时要打折扣，因此给用户开的价格高于 ASP，称为 List Price。PC 机经常由代理商出售，他们要保持 List Price 的 40% 的支配权利。

平均折扣 (discount) 约占所开价格 (List Price) 的 25—40%。

习 题

1. 说明高级语言、汇编语言、机器语言三者的差别和联系。
2. 计算机硬件由哪几部分组成？各部分的作用是什么？各部分之间是怎样联系的？
3. 计算机系统可分哪几个层次？说明各层次的特点及其相互联系。
4. 如何划分计算机发展的 4 个阶段（第一代到第四代）？当前广泛应用的计算机主要采取哪一代的技术？
5. 计算机能够普及应用的主要原因是什么？
6. 冯·诺依曼结构的特点是什么？
7. 科学计算和数据处理对计算机的要求有什么差别？
8. 计算机的成本由哪些部分构成？
9. 请说出几种衡量计算机速度的方法。
10. 你对知识产权和软件保护问题有什么看法？

第2章 计算机的数制、码制及其运算

本章主要讲述数据和信息(如文字、符号、语言和图象等)在计算机中的表示方法、计算机中数据的算术运算和逻辑运算等。

2.1 数制及其转换

计算机内部是以二进制形式表示数据,以二进制形式对这些数据进行算术逻辑运算,并且以二进制形式存储数据的。但是当人们往计算机中输入信息或在屏幕上显示数据时,如果也用二进制表示,就会给人们带来无限的烦恼。因此,在人-机界面处,数据最好用人们熟悉的十进制数、八进制数或十六进制数表示。同一个数用不同的数制表示,就存在它们之间相互转换的问题。

2.1.1 进位记数制

1. 进位基数和位权值

十进制数,它的数值部分是用10个不同的数码表示的,这10个数码分别是:0,1,2,3,4,5,6,7,8,9。数码在数据中的位置不同,所代表数值的大小也不同。例如123.45这个十进制数,3在小数点左面1位上,它代表的数值是 3×10^0 ,1在小数点左面3位上,它代表的数值是 1×10^2 ,5在小数点右面2位上,它代表的数值是 5×10^{-2} 。这个数可以写成:

$$123.45 = 1 \times 10^2 + 2 \times 10^1 + 3 \times 10^0 + 4 \times 10^{-1} + 5 \times 10^{-2}$$

任意一个十进制数S都可以表示成(2.1)式:

$$\begin{aligned} S &= K_n K_{n-1} \cdots K_1 K_0 \cdot K_{-1} K_{-2} \cdots K_{-m} \\ &= K_n * 10^n + K_{n-1} * 10^{n-1} + \cdots + K_1 * 10^1 + K_0 * 10^0 + K_{-1} * 10^{-1} \\ &\quad + K_{-2} * 10^{-2} + \cdots + K_{-m} * 10^{-m} \end{aligned} \quad (2.1)$$

式中: K_i ($i=n, n-1, \cdots, 1, 0, -1, \cdots, -m$) 是0,1,2, $\cdots$,8,9十个数码中的任意一个。 10^i 为进位基数, 10^i 代表了这位数的权值。

进位基数指的是在该进位记数制中可能用到的数码个数。每一位计满这个基数后,应向高位进位。对于十进制数应“逢十进一”;对于二进制数应“逢二进一”。

八进制数所用到的数码个数为八个,分别是0,1,2, $\cdots$,6,7。

十六进制数所用到的数码个数为十六个,分别是0,1,2, $\cdots$,8,9,A,B,C,D,E,F。A,B,C,D,E,F与十进制数的对应关系分别是:10,11,12,13,14,15。

对于R进制数(R为任意正整数),所用到的数码个数为R个,分别是:0,1,2, $\cdots$,

R-1。每一位数当计满 R 后，应向高位进位。

一个任意的 R 进制数 S，都可以写成 (2.2) 式的形式：

$$\begin{aligned} S &= K_n K_{n-1} \cdots K_1 K_0 . K_{-1} K_{-2} \cdots K_{-m} \\ &= K_n * R^n + K_{n-1} * R^{n-1} + \cdots + K_1 * R^1 + K_0 * R^0 \\ &\quad + K_{-1} * R^{-1} + \cdots + K_{-m} * R^{-m} \end{aligned} \quad (2.2)$$

式中，R 为进位基数， R^i 是对应位的权值。

(2.2) 式称为进位记数制的按权展开式。

[例 2.1] 请写出二进制数 $S=1011.11$ 的按权展开式。

解：按权展开式为： $S=1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2}$

其中 2^3 、 2^2 、 2^1 、 2^0 、 2^{-1} 、 2^{-2} 是相应位的权值。

2. R 进制数转化成十进制数

根据 (2.2) 式，把任意 R 进制数写成按权展开式后，再求和，就是这个 R 进制数所对应的十进制数。

[例 2.2] 把二进制数 11011.101 转换成十进制数。

$$\begin{aligned} \text{解：} (11011.101)_2 &= 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 \\ &\quad + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} \\ &= 16 + 8 + 2 + 1 + 0.5 + 0.125 \\ &= (27.625)_{10} \end{aligned}$$

[例 2.3] 把八进制数 123 转换成十进制数。

$$\text{解：} (123)_8 = 1 \times 8^2 + 2 \times 8^1 + 3 \times 8^0 = 64 + 16 + 3 = (83)_{10}$$

[例 2.4] 把十六进制数 1AB 转换成十进制数。

$$\begin{aligned} \text{解：} (1AB)_{16} &= 1 \times 16^2 + (10) \times 16^1 + (11) \times 16^0 \\ &= 256 + 160 + 11 \\ &= (427)_{10} \end{aligned}$$

注：十六进制数 A、B 分别对应十进制数 10，11。

2.1.2 进位记数制之间的转换

1. 十进制整数转换成二进制整数

从上节介绍中可以看到，任何一个十进制整数都可以用一个 R 进制整数精确表示。

[例 2.5] 将 $(123)_{10}$ 转换成二进制数。

解：十进制数 123，能用一个二进制整数表示，假设表示形式如下：

$$(123)_{10} = (a_n a_{n-1} \cdots a_1 a_0)_2 \quad (2.3)$$

$a_i=0$ 或 1，问题是如何确定式中的 $a_n, a_{n-1}, \cdots, a_1, a_0$ 的值。

常用的方法有两种：

(1) 除以 R 取余法 (此例中 $R=2$)

2		1	2	3		余数
2		6	1			1转换后低位数
2		3	0			1
2		1	5			0
2		7				1
2		3				1
2		1				1
		0				1转换后高位数

最后算得结果: $(123)_{10} = (1111011)_2$

(2) 减权定位法

$$(123)_{10} = a_n \cdot 2^n + a_{n-1} \cdot 2^{n-1} + \dots + a_1 \cdot 2^1 + a_0 \cdot 2^0$$

把 $(123)_{10}$ 展开成 2 的整数次幂之和, 找到对应位上 a_i 的取值。

$$(123)_{10} = 64 + 32 + 16 + 8 + 2 + 1$$

$$= 1 \times 2^6 + 1 \times 2^5 + 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0$$

则 $a_6=1, a_5=1, a_4=1, a_3=1, a_2=0, a_1=1, a_0=1$, 最后转换结果为: $(123)_{10}$

$$= (1111011)_2$$

2. 十进制小数转化为 R 进制小数

假设将十进制小数 $(0.315)_{10}$ 转换成二进制小数。常用的方法是把给定的十进制小数乘以 2, 取积的整数部分, 得到二进制小数的小数点后的第一位; 乘积的小数部分再乘以 2, 积的整数部分为小数点后的第 2 位; 一直重复做下去, 就可以得到希望的二进制小数。

整数部分

$$0.315 \times 2 = 0.63 \quad 0 \dots \dots \text{小数点后第 1 位数}$$

$$0.63 \times 2 = 1.26 \quad 1$$

$$0.26 \times 2 = 0.52 \quad 0$$

$$0.52 \times 2 = 1.04 \quad 1 \dots \dots \text{小数点后第 4 位数}$$

假设本题只取 4 位小数, 最后结果为近似值: $(0.315)_{10} = (0.0101)_2$ 。从这个例子可以看出, 不是所有的十进制小数全可以用一个精确的二进制小数表示。

3. 二进制数与八进制数之间的转换

三位二进制数, 正好完全表示了八进制数的 8 个代码, 它们之间的对应关系如下:

二进制 000 001 010 011 100 101 110 111

八进制 0 1 2 3 4 5 6 7

每三位二进制数可以用一位八进制数表示, 在计算机中可以认为八进制数只是二进制数的另一种表示方法。

二进制数转化成八进制数的方法是: 从小数点开始, 分别向左、向右, 每 3 位二进制数为一组, 用八进制数来书写。

例如, 二进制数 10110111.01101 转化成八进制数是 267.32, 其过程如下:

二进制数: 010 110 111 . 011 010

八进制数: 2 6 7 . 3 2

若小数点左侧位数不是 3 的倍数, 则最左侧用 0 补充; 若小数点右侧位数不是 3 的倍数, 则最右侧用 0 补充。

反过来, 八进制数转化成二进制数的方法是: 将每个八进制数用 3 位二进制数来书写。

例如: 把八进制数 123.45 转换成二进制数是 1010011.100101, 其过程如下:

八进制数: 1 2 3 . 4 5

二进制数: 001 010 011 . 100 101

4. 二进制数与十六进制数之间的转换

四位二进制数, 正好完全表示了十六进制数的 16 个代码, 它们之间的对应关系如下:

二进制: 0000 0001 0010 0011 0100 0101 0110 0111 1000 1001 1010 1011 1100 1101 1110 1111

十六进制: 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B C D E F

每四位二进制数可以用一位十六进制数表示。

二进制数转换成十六进制数的方法是:

从小数点开始, 分别向左、向右, 每 4 位二进制数为一组, 用十六进制数来书写。同理, 若小数点左(右)侧位数不是 4 的倍数, 则最左(右)侧用 0 补充。

例如, 二进制数 110110111.01101 转换成十六进制数是 1B7.68。其过程如下:

二进制数: 000 1 1011 0111.0110 1 000

十六进制数: 1 B 7 . 6 8

反过来, 十六进制数转化成二进制数的方法是: 将每个十六进制数用 4 位二进制数来书写, 其最左侧或最右侧的 0 可以省去。

例如: 把十六进制数 7AC.DE 转换成二进制数。

十六进制数: 7 A C . DE

二进制数: 0111 1010 1100 .1101 1110

另外如果一个分数的分母是 2 的整数次幂, 可用下面的方法把它转化成二进制数。

[例 2.6] 把 $\left(\frac{3}{32}\right)_{10}$ 化成二进制数。

解: $\frac{3}{32} = 3 \times 2^{-5} = (11)_2 \times (0.00001)_2 = (0.00011)_2$

总之, 十进制数与二进制数之间的转换必须用前面讲的繁锁方法进行, 因为 10 不能用 2 的整数次幂进行表示, 也就是不能像八进制或十六进制数那样用几位二进制数完全表示十进制数的十个数码。而八进制数和十六进制数由于可以用三位或四位二进制数完全可以表示它们的全部代码, 因此八进制数和十六进制数与二进制数之间的转换就变得非常简单。

[例 2.7] 把十进制数 27.625 转换成二进制、八进制和十六进制数。

解: 首先把整数部分 (27) 转换成二进制:

$$(27)_{10} = 16 + 8 + 2 + 1 = 2^4 + 2^3 + 2^1 + 2^0 = (11011)_2$$

再把小数部分 (0.625) 转换成二进制: